

## Curvilinear turbine airfoil

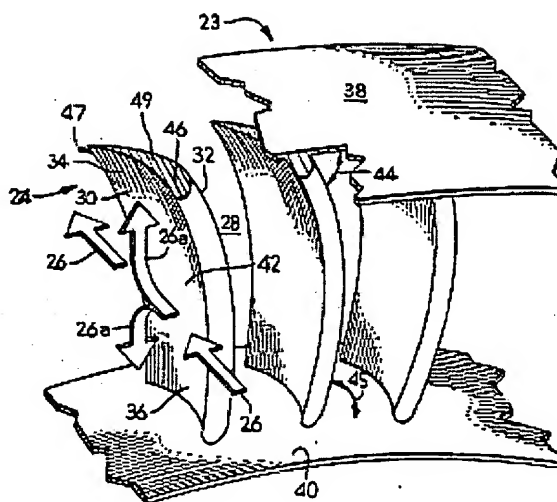
**Patent number:** DE3743738  
**Publication date:** 1988-07-07  
**Inventor:** GREGORY BRENT ALLEN (US)  
**Applicant:** GEN ELECTRIC (US)  
**Classification:**  
- international: **F01D5/14; F01D5/14; (IPC1-7): F01D5/14**  
- european: **F01D5/14B**  
**Application number:** DE19873743738 19871223  
**Priority number(s):** US19860947457 19861229

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE3743738

Abstract of corresponding document: **US4826400**

A turbomachinery airfoil in one form comprises a pressure side and a suction side curved circumferentially outward in the direction that the suction side faces. The invention is effective for reducing both radial and circumferential boundary layer pressure gradients thereby reducing airfoil aerodynamic losses. In another form of the invention the airfoil is a vane of a turbine vane assembly having an inner and outer shroud wherein the vane in addition to being curved is leaned circumferentially outward in the direction that the suction side faces.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 37 43 738 A 1

⑤① Int. Cl. 4:  
F01 D 5/14

②① Aktenzeichen: P 37 43 738.0  
②② Anmeldetag: 23. 12. 87  
②③ Offenlegungstag: 7. 7. 88

*Schöndenselgen*

DE 37 43 738 A 1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①

29.12.86 US 947457

⑦① Anmelder:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

⑦④ Vertreter:

Schüler, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000  
Frankfurt

⑦② Erfinder:

Gregory, Brent Allen, Cincinnati, Ohio, US

⑤④ Gekrümmte Turbinenschaufel

Eine Turbomaschinenschaufel weist gemäß einem Ausführungsbeispiel eine Druckseite und eine Saugseite auf, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die zur Saugseite gerichtet ist. Die Erfindung verkleinert auf wirksame Weise sowohl radiale als auch in Umfangsrichtung verlaufende Grenzschicht-Druckgradienten, um dadurch aerodynamische Schaufelverluste zu verkleinern. Gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung ist die Schaufel Teil einer Turbinenschaufelanordnung mit einem inneren und einem äußeren Mantel, wobei die Schaufel zusätzlich zu ihrer Krümmung geneigt ist, in Umfangsrichtung nach außen in die Richtung, in die die Saugseite gerichtet ist.

DE 37 43 738 A 1

## Patentansprüche

1. Turbomaschinenschaufel mit einer Druckseite und einer Saugseite, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel in Umfangsrichtung nach außen in einer ersten Richtung gekrümmt ist, die die Richtung ist, in der die Saugseite gerichtet ist.
2. Schaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel in der ersten Richtung auch geneigt ist.
3. Turbomaschinenschaufel mit einer Druckseite, einer Saugseite und einer Stapellinie zum Definieren des Profils der Schaufel, dadurch gekennzeichnet, daß die Stapellinie (50) in Umfangsrichtung nach außen in einer ersten Richtung gekrümmt ist, die die Richtung ist, in der die Saugseite gerichtet ist.
4. Schaufel nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Stapellinie (50) zu einem Bogen geformt ist.
5. Schaufel nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel auch in die erste Richtung geneigt ist.
6. Schaufel nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen Mittelabschnitt (42) aufweist und die Stapellinie, die zu einem Bogen geformt ist, durch einen Radius (56) mit einem Ursprung (54) definiert ist, der auf einer Linie senkrecht zu der Tangente des Bogens an dem Schaufelmittelabschnitt angeordnet ist.
7. Turbinenschaufelanordnung mit einem inneren Mantel, einem äußeren Mantel und einer Turbinenschaufel, die zwischen den Mänteln angeordnet ist und eine Druckseite und eine Saugseite aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel in Umfangsrichtung nach außen in einer ersten Richtung gekrümmt ist, die die Richtung ist, in der die Saugseite gerichtet ist.
8. Turbinenschaufelanordnung mit einem inneren Mantel, einem äußeren Mantel und einer Turbinenschaufel, die zwischen den Mänteln angeordnet ist und eine Druckseite, eine Saugseite und eine Stapellinie aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Stapellinie in Umfangsrichtung nach außen in der ersten Richtung gekrümmt ist.
9. Turbinenschaufelanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Stapellinie bogenförmig ist.
10. Turbinenschaufelanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel auch in die erste Richtung geneigt ist.

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Flugzeugantriebssystem und insbesondere auf eine neue und verbesserte gekrümmte Schaufel, die sowohl radiale als auch in Umfangsrichtung verlaufende Grenzschicht-Druckgradienten und somit die Größe von sekundären aerodynamischen Verlusten verkleinert.

Gasturbinentriebwerke enthalten im allgemeinen einen Verdichter mit Rotor- und Statorstufen zum Komprimieren von durch das Triebwerk strömender Luft, eine Brennkammer, in der Brennstoff mit der verdichteten Luft gemischt und gezündet wird, um eine hochenergetische Gasströmung zu bilden, und eine Turbine, die wenigstens eine Rotor- und Statorstufe aufweist zum Antreiben des Verdichters. Der Verdichter enthält im

allgemeinen abwechselnde Reihen von Rotorschaukeln, die an dem Rotor befestigt sind, und Statorschaukeln, die in bezug auf das Gehäuse feststehend sind. Der Verdichter verdichtet die Luft, die in die Brennkammer strömt, wo ein Teil verwendet wird, um den Brennstoff zu verbrennen, wodurch die übrige Luft und Verbrennungsprodukte erhitzt werden und zur Turbine strömen. Die Turbine entzieht dann dem Arbeitsmedium nutzbare Energie, um den Verdichter, Zubehöreinrichtungen und gegebenenfalls einen Bläser (Fan) anzutreiben. Die Turbine enthält im allgemeinen wenigstens eine abwechselnde Reihe von Rotorschaukeln, die an dem Rotor befestigt sind, und Statorschaukeln, die in bezug auf das Gehäuse feststehend sind. Die Turbinenrotorschaukeln sind mit dem Rotor verbunden und hinter der Brennkammer innerhalb der Gasströmungsbahn angeordnet, um so der Gasströmung nutzbare Energie zu entziehen. Um die Größe der entzogenen Energie zu optimieren, sind zwischen den Rotorbzw. Laufschaufeln Gruppen oder Felder von Statorschaufeln zwischen den inneren und äußeren Mänteln in Umfangsrichtung angeordnet und radial angebracht. Jedoch bestehen aufgrund der geometrischen Charakteristiken der Statorschaufeln große Druckgradienten in den Kanälen zwischen den einzelnen Schaufeln. Diese Gradienten bestehen in der Umfangsrichtung aufgrund der Schaufelflächengeschwindigkeitsdifferenz und in der radialen Richtung in bezug auf die Triebwerksmittellinie aufgrund von Strömungsverwirbelung. Aufgrund dieser großen Druckgradienten tritt die einen höheren Druck aufweisende Grenzschichtluft, die entlang den inneren Oberflächen der Schaufelendwände angeordnet ist, in die gleichmäßige aerodynamische Hauptluftströmung, die durch das Triebwerk hindurchtritt, ein und unterbricht diese. Diese Störungen können groß sein und rufen Verluste im Verhältnis zur Größe der Druckgradienten, die sie erzeugen, hervor. Die Erfindung ist auch auf gegenläufig rotierende Gasturbinentriebwerke anwendbar, die einen Teil oder alle stationären Schaufeln eliminiert haben und gegenläufig rotierende Stufen aufweisen, wobei abwechselnde Stufen von Rotorschaukeln im Verdichter das Arbeitsmedium verdichten und in der Turbine dem Arbeitsmedium Arbeit entziehen.

In der Vergangenheit sind verschiedene Techniken vorgeschlagen worden, um dieses Problem zu überwinden. Ein derartiger Vorschlag besteht darin, die Schaufeln in der Umfangsrichtung zu neigen. Ein anderer Vorschlag war, die Schaufeln zu erweitern in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung, in der die konkave oder Druckseite der Schaufel gerichtet ist. Noch ein anderer Vorschlag bestand darin, die Schaufeln so zu krümmen, daß die konkave oder Druckseite jeder Schaufel in Richtung auf die Endwandgehäuse gedreht sein würde, wodurch eine S-förmige Kurve gebildet wird. Diese S-förmige Kurve hat eine Verkleinerung der Umfangsdruckgradienten zur Folge, wodurch die Möglichkeit eingeschränkt wird, daß ein kleines Moment aufweisende Hochdruckluft von der Hochdruckseite des Kanals in Richtung auf die Niederdruckseite und in die Hauptluftströmung strömt. Diese gekrümmte Schaufel verkleinert zwar den Umfangsdruckgradienten, aber sie vergrößert in signifikanter Weise den Druckgradienten in radialer Richtung.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine neue und verbesserte Schaufel für eine Turbomaschine zu schaffen. Weiterhin soll eine neue und verbesserte Schaufelanordnung für ein Gasturbinentriebwerk geschaffen werden. Die Schaufel soll für eine verbesserte Luftströ-

mung sorgen. Weiterhin soll die Schaufel kleinere Druckgradienten in den radialen und Umfangsrichtungen aufweisen. Ferner soll die Schaufel kleinere Leistungsverluste besitzen, die der Grenzschicht-Luftleakage zuzurechnen sind.

Erfindungsgemäß wird eine Schaufel zur Verwendung in einer Turbomaschine geschaffen. Die Schaufel enthält eine Druckseite und eine Saugseite und ist in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt, die zur Saugseite gerichtet ist.

Gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird eine Gasturbinentriebwerk-Schaufelanordnung geschaffen, die innere und äußere Mäntel und einen dazwischen angebrachten stromlinienförmigen Abschnitt aufweist. Der stromlinienförmige Abschnitt ist in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt, die zur Saugseite gerichtet ist.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung enthält eine Turbinenschaufelanordnung innere und äußere Mäntel und einen stromlinienförmigen Abschnitt, der dazwischen angebracht ist. Der stromlinienförmige Abschnitt ist in Umfangsrichtung außen gekrümmt und in der Richtung geneigt, die auf die Saugseite gerichtet ist.

Die Erfindung wird nun mit weiteren Merkmalen und Vorteilen anhand der Beschreibung und Zeichnung von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 ist ein schematischer Querschnitt von einem Gasturbinentriebwerk mit Hochdruck- und Niederdruckturbinen.

Fig. 2 ist eine Teilansicht und zeigt die Turbinenschaufelanordnung gemäß der Erfindung.

Fig. 3a, 3b bzw. 3c sind graphische Darstellungen und zeigen die Saugseiten-Strömungslinien für eine bekannte Schaufel, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gerichtet ist, die auf die Druckseite gerichtet ist; eine bekannte Schaufel, die überhaupt nicht in Umfangsrichtung gekrümmt ist und eine Schaufel gemäß der Erfindung, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die auf die Saugseite gerichtet ist.

Fig. 4a, 4b bzw. 4c sind schematische radiale Darstellungen und zeigen die Außenwandgehäuse-Strömungslinien für eine bekannte Schaufel, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die auf die Druckseite gerichtet ist; für eine bekannte Schaufel, die überhaupt nicht in Umfangsrichtung gekrümmt ist; und eine Schaufel gemäß der Erfindung, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die auf die Saugseite gerichtet ist.

Fig. 5 ist eine schematische Ansicht und zeigt die Turbinenschaufelanordnung von hinten und insbesondere die Turbinenschaufel mit einer gekrümmten Stapellinie.

Fig. 6 ist eine schematische Darstellung und zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel der Turbinenschaufelanordnung von hinten und insbesondere die Turbinenschaufel mit einer gekrümmten Stapellinie, die auch geneigt ist.

Fig. 1 zeigt ein Gasturbinentriebwerk 8 um eine Triebwerksmittellinie 10 mit einem Bläser (Fan) 12, einem Verdichter 14, einer Brennkammer 16, einer Hochdruckturbinen 18 und einer Niederdruckturbinen 20. Zwischen den Turbinenlaufschaufelreihen 22 sind Turbinenstatorschaufelanordnungen 23 angeordnet, die stromlinienförmige Abschnitte aufweisen, die als Turbinenschaufeln 24 bezeichnet werden.

Fig. 2 zeigt genauer die Turbinenschaufelanordnung 23 mit Turbinenschaufeln 24, die durch einen Kanal 25

getrennt sind. Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung enthält jede Schaufel 24 eine Druckseite 30 und eine Saugseite 32. Zusätzlich hat jede Schaufel 24 ein radial äußeres Ende 34, ein radial inneres Ende 36 und ein Mittelteil 42. Jede Schaufelanordnung 23 enthält ferner einen äußeren Mantel 38 und einen inneren Mantel 40, deren Innenflächen die äußeren und inneren Grenzflächen der Strömungsbahn durch die Turbine 20 bilden.

Erfindungsgemäß können die Druckgradienten, die in dem Kanal 28 angeordnet sind, in vorteilhafter Weise abgeändert werden, praktisch ohne daß ein Kompromiß in der Gestaltung der Schaufeln 24 geschlossen werden muß, indem die Schaufeln in Umfangsrichtung außen in der gleichen Richtung gekrümmt werden, in die die Saugseite 32 gerichtet ist. Die Form der gekrümmten Schaufel 24 ist im allgemeinen ein kontinuierlicher Bogen, der spitze Winkel 44 und 45 mit Plattformen 38 bzw. 40 bildet. Die Wirkung der Krümmung der Schaufel 24 besteht darin, einen Teil 26a der Hauptluftströmung 26 in den Richtungen radial nach innen und nach außen auf der Druckseite 30 der Schaufel zu richten. Die Schaufel 24 hat eine Vorderkante 46 und eine Hinterkante 47, die für den Schaufelbetrieb wichtig und auch nützlich sind bei der Definition der aerodynamischen Form der Schaufel.

Die Fig. 3a, 3b und 3c stellen graphisch die Druckgradienten dar, die in der radialen Richtung durch Strömungsverwirbelung hervorgerufen werden und ein Prozent von der Schaufelvorderkante 46 (Fig. 2) angeordnet sind, für zwei bekannte Schaufelkonfigurationen und diejenige gemäß der Erfindung. Weiterhin sind Skizzen der relativen Krümmungen der entsprechenden Schaufeln gezeigt, wenn man von hinten nach vorne auf die Schaufelanordnung blickt. Fig. 3a, 3b bzw. 3c stellen eine bekannte Schaufel, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die auf die Druckseite gerichtet ist, eine bekannte Schaufel, die überhaupt nicht in Umfangsrichtung gekrümmt ist und eine Schaufel gemäß der Erfindung dar, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die auf die Saugseite gerichtet ist und nachfolgend als eine erste Richtung bezeichnet wird. Strömungslinien 48a, 48b und 48c reflektieren die relative radiale Bewegung der ein kleines Moment aufweisenden Grenzschicht-Luftströmung. Wie durch die Strömungslinien 48c in Fig. 3c gezeigt ist, wird die Wirbelluftströmung, die durch die bei der Erfindung entstehenden Druckgradienten von Schaufel zu Schaufel erzeugt wird, in einem wesentlich kleineren Umfang als bei den bekannten Bauformen in die Hauptluftströmung gezogen.

Fig. 4a, 4b und 4c stellen die bekannte Schaufel, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die auf die Druckseite gerichtet ist, die bekannte Schaufel, die überhaupt nicht in Umfangsrichtung gekrümmt ist, und eine Schaufel gemäß der Erfindung dar, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die auf die Saugseite gerichtet ist. Die Strömungslinien 50a, 50b und 50c reflektieren die relative Umfangsbewegung der ein kleines Moment aufweisenden Grenzschicht-Luftströmung. Wie durch die Strömungslinien 50c in Fig. 4c gezeigt ist, tritt die Bewegung dieser ein kleines Moment aufweisenden Grenzschicht-Luftströmung, die gemäß der Erfindung entsteht, in einem viel kleineren Ausmaß als bei den bekannten Bauformen in die Hauptluftströmung ein und unterbricht weniger die gleichmäßige aerodynamische Hauptluftströmung.

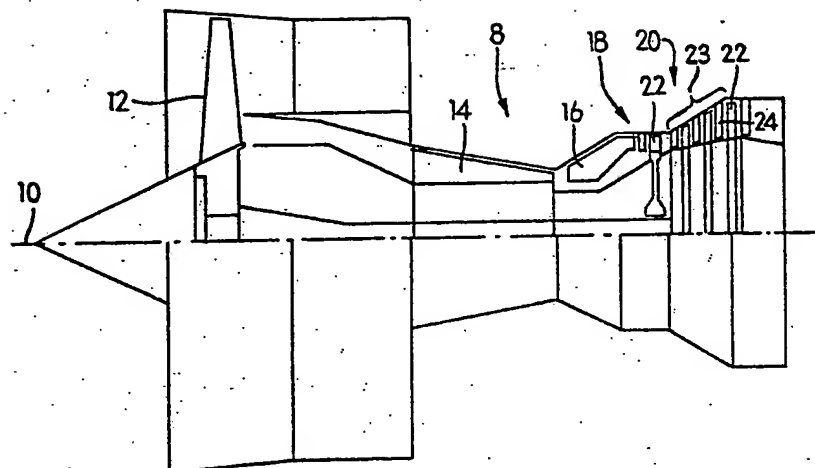
Die Schaufel gemäß den beschriebenen Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung gekrümmt ist, die auf die Druckseite gerichtet ist, verkleinert den Druckgradienten sowohl in radialer Richtung als auch in Umfangsrichtung (wie es in den Fig. 3c und 4c gezeigt ist) gegenüber bekannten Bauformen. Auf diese Weise wird die Gefahr, daß eine ein kleines Moment aufweisende Luftströmung in die Hauptluftströmung eintritt, verkleinert, wodurch die Größe von sekundären Verlusten gesenkt wird.

Die Umfangskrümmung einer Schaufel, wie beispielsweise der Turbinenschaufel 24, wird definiert durch die Form der Stapellinie 50 in Fig. 5. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel fällt die Stapellinie 50 mit der Hinterkante 47 in Fig. 2 zusammen. Die Stapellinie ist ein Design- bzw. Auslegungsparameter, zu dem die Schaufelquerschnitte 49 gezogen oder orientiert sind. In Fig. 2 ist die Schaufel 24 mit einem konstanten Querschnitt durch die Länge der Schaufel gezeigt. Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung, wie es in Fig. 5 gezeigt ist, hat eine bogenförmige Stapellinie 50, die durch einen Bogenradius 56 und einen Ursprung 54 definiert ist, so daß ein Radius 56 zum Mittelabschnitt 42 die Sehne 52 der bogenförmigen Stapellinie 50 halbiert. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Schaufel 24 gekrümmt, aber nicht geneigt, so daß die Sehne 52 kollinear mit einem ersten Triebwerksradius 50 ist, der von der Triebwerksmittellinie 10 durch den Schnittpunkt 62 zwischen der Stapellinie 50 und dem inneren Mantel 40 gezogen ist. In einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung, das in Fig. 6 gezeigt ist, ist die Schaufel 24' in der Richtung geneigt, die zur Saugseite 32' gerichtet ist. Die Sehne 52' der bogenförmigen Stapellinie 50' ist nicht kollinear mit einem zweiten Triebwerksradius 70'. Der zweite Triebwerksradius 70' ist von der Triebwerksmittellinie 10' durch den Schnittpunkt 62' zwischen der Stapellinie 50' und dem inneren Mantel 40' zum Außenmantel 38' gezogen, wobei ein spitzer Winkel mit dem zweiten Triebwerksradius 70' gebildet wird.

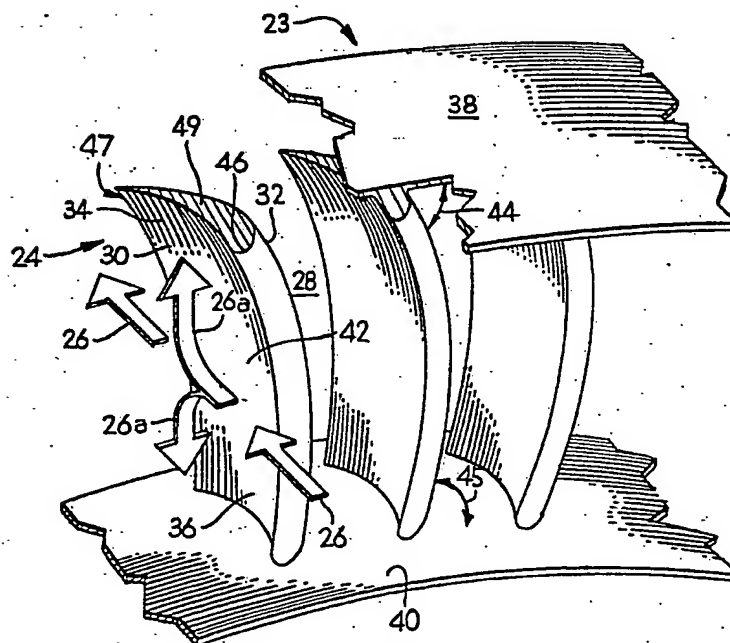
Es sind jedoch noch weitere Ausführungsbeispiele möglich. Darüber hinaus soll die Erfindung nicht nur für Turbinenstatoren anwendbar sein. Vielmehr ist sie in gleicher Weise auf Rotoren und Statoren anwendbar, die in Turbomaschinen verwendet werden.

Es sei auch darauf hingewiesen, daß die Abmessungen und die proportionalen und strukturellen Relationen in der Zeichnung nur als Beispiele zu verstehen sind und nicht als die tatsächlichen Abmessungen und Relationen zu verstehen sind.

- Leerseite -

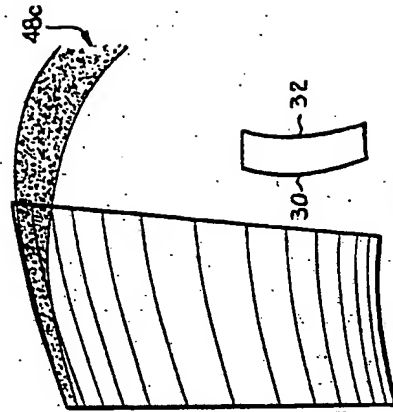


**Fig 1**

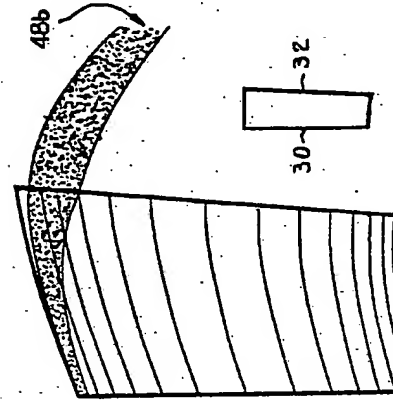


**Fig 2**

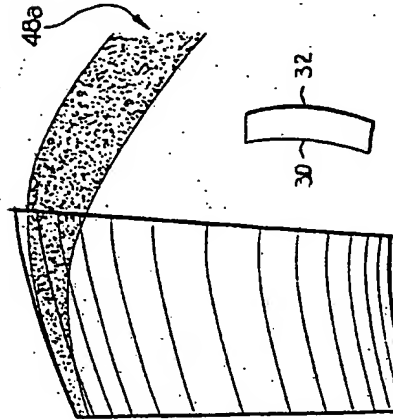
3743738



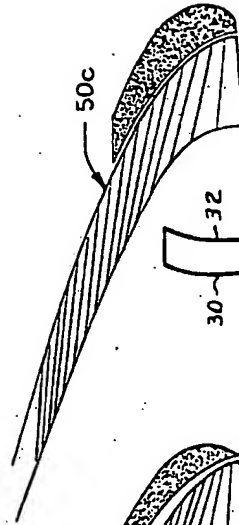
Schaufel gekrümmt in Umfangsrichtung nach außen in die Richtung, in die die Saug-  
**Fig. 31** Erfindung ist



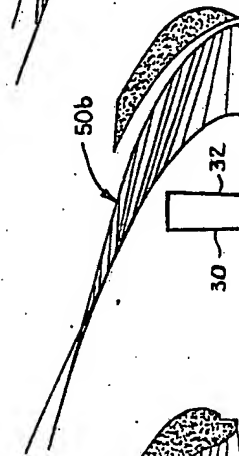
nicht gekrümmt in Umfangs-  
richtung **Fig. 32** bekannt



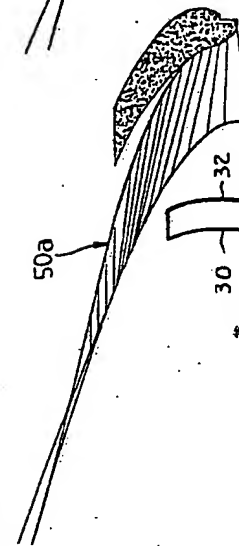
Schaufel gekrümmt in Umfangsrichtung nach außen in der Richtung, in die die Druckseite gerichtet ist  
**Fig. 33** bekannt



**Fig. 41** Erfindung



**Fig. 42** bekannt



**Fig. 43** bekannt



3743738

